

**РАЗРАБОТКА И АПРОБАЦИЯ ВЫСОКОЧУВСТВИТЕЛЬНОГО
МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ Sr-90 В ПРИРОДНЫХ ВОДАХ**

Суетина А. К., Белоконова Н.В., Воронина А. В.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.

Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

annasuetina@mail.ru, nadyusha.ru2@gmail.com, av.voronina@mail.ru

Аннотация. Исследованы физико-химические и сорбционные свойства сорбента Т-3К, возможность его использования для концентрирования ^{90}Sr . Показано, что при концентрации кальция в растворе больше 50 мг/л и натрия больше 0,0001 моль/л коэффициент распределения стронция сорбентом Т-3К составляет не менее 10^4 мл/г, что позволяет использовать сорбент для извлечения стронция из природных вод различной минерализации. Разработан высокочувствительный метод определения ^{90}Sr в природных водах с использованием сорбента Т-3К, выход ^{90}Sr в концентрат составляет $91 \pm 1\%$, минимально определяемая активность 0,05 Бк/л. Проведена апробация разработанного метода при радиоэкологическом мониторинге природных вод на территориях Свердловской и Челябинской областей, а также проб воды, отобранных в санитарно-защитной зоне пункта хранения радиоактивных отходов Свердловского отделения филиала «Уральский территориальный округ» ФГУП «Федеральный экологический оператор».

Ключевые слова: стронций, природные воды, анализ, карбонатсодержащий гидроксид циркония, концентрирование.

**DEVELOPMENT AND TESTING OF A HIGHLY SENSITIVE METHOD
FOR DETERMINING Sr-90 IN NATURAL WATERS**

Suetina A.K., Belokonova N.V., Voronina A.V.

Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

annasuetina@mail.ru, nadyusha.ru2@gmail.com, av.voronina@mail.ru

Abstract. The physicochemical and sorption properties of the T-3K sorbent and the possibility of its use for the concentration of ^{90}Sr were investigated. It is shown that when the concentration of calcium in the solution is more than 50 mg/l and sodium is more than 0,0001 mol/l, the strontium distribution coefficient of the T-3K sorbent is at least 10^4 ml/g, which allows the sorbent to be used to extract strontium from natural waters of various mineralization. A highly sensitive method for determining ^{90}Sr in natural waters using the T-3K sorbent has been developed, the yield of ^{90}Sr in the concentrate is $91 \pm 1\%$, the minimum detectable activity is

0,05 Bq/l. The developed method was tested for radioecological monitoring of natural waters in the territories of the Sverdlovsk and Chelyabinsk regions, as well as water samples taken in the sanitary protection zone of the radioactive waste storage facility of the Sverdlovsk branch of the Ural Territorial District branch of the Federal State Unitary Enterprise "Federal Environmental Operator".

Key words: strontium, natural waters, analysis, carbonate-containing zirconium hydroxide, concentration.

Вследствие испытаний ядерного оружия, штатной деятельности и аварий на предприятиях ядерного топливного цикла, захоронения радиоактивных отходов радионуклиды поступают в окружающую среду. Одним из радионуклидов, обуславливающих долговременное загрязнение окружающей среды, является ^{90}Sr с периодом полураспада 29,12 года, что вызывает необходимость контроля за его поступлением в природные воды.

Особую актуальность проблема мониторинга ^{90}Sr в поверхностных и подземных водах приобретает в местах расположения предприятий ядерного топливного цикла и хранилищ радиоактивных отходов. На территории региона сосредоточено большого количества предприятий ГК «Росатом», к числу которых относятся Белоярская АЭС (г. Заречный), Уральский электрохимический завод (г. Новоуральск), ФГУП «Электрохимприбор» (г. Лесной), ФГУП «ФЭО» (пос. Садовый), а также размещён пункт захоронения радиоактивных отходов 3-4 класса (г. Новоуральск). Обеспечение радиационной безопасности объектов предполагает мониторинг их санитарно-защитных зон.

Используемые в настоящее время методы определения ^{90}Sr не удовлетворяют требованиям по пределу обнаружения радионуклида и экспрессности. Поэтому необходима разработка высокочувствительных и экспрессных методов определения ^{90}Sr .

Радиохимический анализ природных вод на ^{90}Sr предполагает стадии концентрирования, выделения и получения счётного образца. Концентрирование проводят методами упаривания, осаждения или соосаждения, концентрирования на ионообменных смолах с последующим хроматографическим выделением ^{90}Y на анионите, избирательной экстракции ^{90}Y или выделении ^{90}Sr на смоле SR. Минимально определяемая активность ^{90}Sr чаще всего составляет 0,3 Бк/л. Методы длительны, включают большое количество стадий, что обуславливает низкий выход и высокую погрешность определения Sr-90.

Для снижения минимально определяемой активности необходимо уменьшение количества стадий при радиохимическом анализе, эффективное концентрирование ^{90}Sr на фоне макрокомпонентов природных вод и увеличение выхода радионуклида в счётный образец. Содержание основных

макрокомпонентов в природных водах, выступающих конкурентами стронция при концентрировании, может колебаться в достаточно широких пределах. Концентрация кальция может изменяться от 0,2 до 260 мг/л, натрия – от 0,35 до 5530 мг/л [1-6].

В качестве сорбента для концентрирования ^{90}Sr интерес представляет карбонатсодержащий гидроксид циркония марки Т-3К, производимый АО «Неорганические сорбенты». В работе исследованы физико-химические (элементный состав, структура, пористость) и сорбционные свойства сорбента Т-3К, подобраны условия для концентрирование ^{90}Sr из природных вод.

Сорбцию стронция сорбентом Т-3К исследовали из слабоминерализованной и морской воды, растворов, содержащих ионы кальция и натрия. На рис. 1 представлены зависимости коэффициентов распределения стронция и кальция сорбентом Т-3К от концентрации кальция и натрия в растворе. Кальций оказывает незначительное влияние на сорбцию стронция, несколько снижая коэффициент распределения. При сорбции происходит разделение кальция и стронция, максимальный коэффициент разделения составляет 13. Селективность сорбции определяется растворимостью образующихся при сорбции карбонатов. Произведения растворимости для карбонатов SrCO_3 и CaCO_3 составляют соответственно: $5,3 \cdot 10^{-10}$ и $4,4 \cdot 10^{-9}$. Увеличение концентрации натрия в растворе приводит к снижению коэффициента распределения стронция.

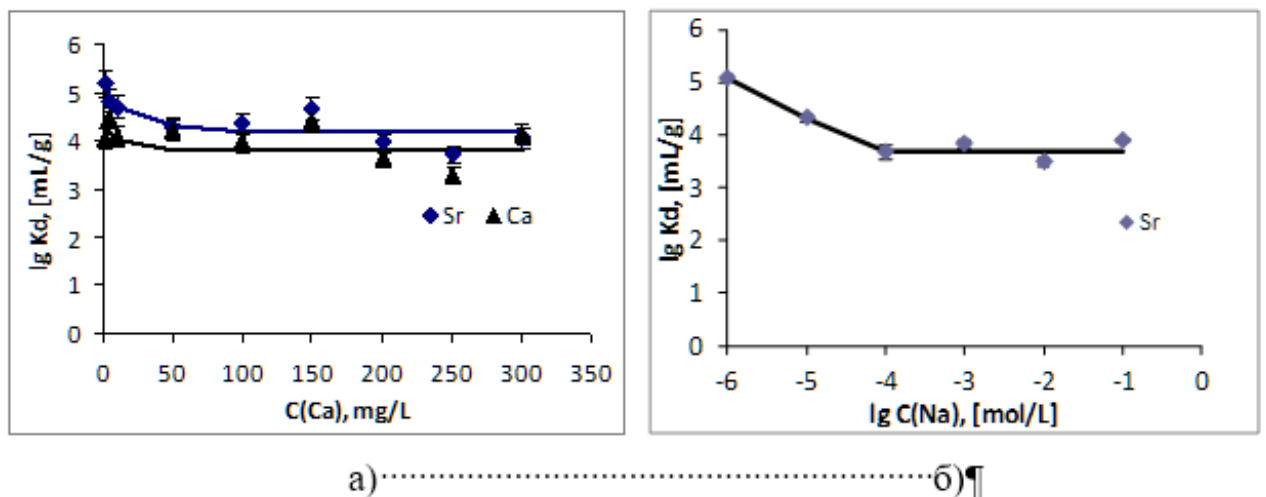


Рисунок 1 – Зависимость коэффициентов распределения стронция и кальция сорбентом Т-3К от концентрации кальция (а) и концентрации натрия (б) в растворе, $C(\text{Sr}) = 1 \text{ мг/л}$

Натрий также снижает коэффициент распределения стронция до концентрации натрия в растворе 0,0001 моль/л при этом K_d составляет приблизительно 10^4 мл/г . Высокий коэффициент распределения стронция в присутствии кальция и натрия в растворе позволяет использовать сорбент для

концентрирования стронция, как из слабоминерализованных вод, так и морской воды.

Получены изотермы сорбции стронция сорбентом Т-3К из слабоминерализованной и морской воды в широком интервале концентраций (рис. 2).

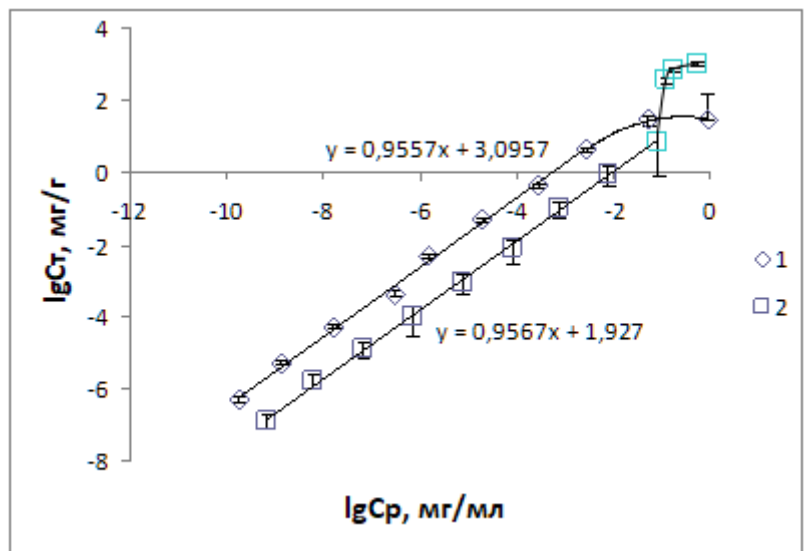


Рисунок 2 – Изотермы сорбции стронция из слабоминерализованной (1) и морской воды (2) сорбентом Т-3К

Статическая обменная ёмкость сорбента по стронцию в слабоминерализованной воде составила 30 мг/г, Генриевский коэффициент распределения – $1,3 \cdot 10^3$ мл/г. Коэффициент распределения стронция в морской воде – 85 мл/г. Ёмкость по стронцию, реализуемая в морской воде, составила 980 мг/г.

Десорбцию стронция исследовали растворами азотной и соляной кислот различной концентрации. Результаты представлены на рис. 3.

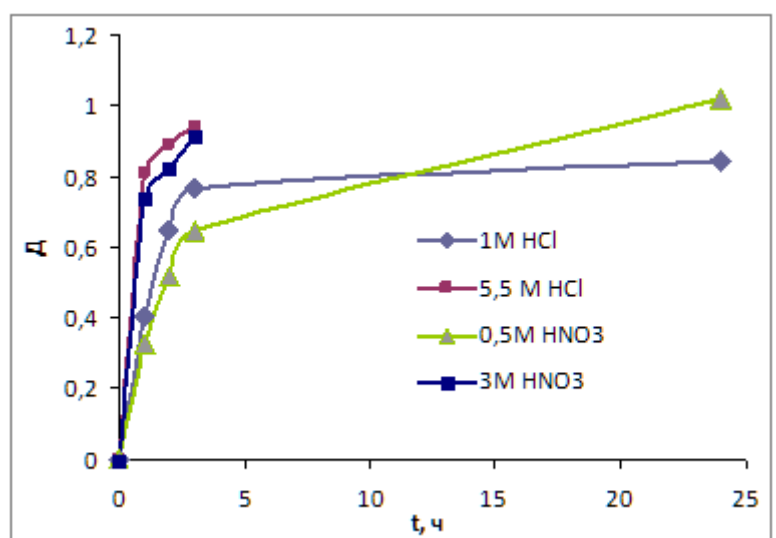


Рисунок 3 – Кривые десорбции стронция из сорбента Т-3К растворами кислот

Очевидно, что азотная кислота является непригодной для десорбции стронция, так как уже через 1 час наблюдается помутнение раствора, связанное с разрушением сорбента. Также непригодны для десорбции стронция растворы HCl высокой концентрации: 2, 3 и 5,5 моль/л. В результате десорбции 2М HCl происходит увеличение концентрации циркония в растворе, что связано с разрушением сорбента. Вымывается 23 % циркония, содержащегося в сорбенте Т-3К.

Для выбора оптимальных условий концентрирования стронция и разработки метода определения ^{90}Sr в природных водах исследовали сорбцию и десорбцию стронция в динамических условиях. Исследованы зависимости сорбции стронция от массы сорбента в колонке, скорости пропускания раствора, объема пробы.

При выбранных условиях концентрирования выход стронция в концентрат на стадии сорбции составил $91 \pm 1\%$, степень десорбции – 100%, что при определении ^{90}Sr из проб слабоминерализованных вод объемом 1-2 л позволяет достичь минимально определяемой активности 0,05 Бк/л.

Таким образом, разработан высокочувствительный метод определения ^{90}Sr в природных водах с концентрированием ^{90}Sr на сорбенте Т-3К. Проведена апробация метода, проанализированы на содержание ^{90}Sr пробы поверхностных природных вод на территории Свердловской и Челябинской областей, а также пробы вод, отобранных в санитарно-защитной зоне ПХРО Свердловского отделения филиала «Уральский территориальный округ» ФГУП «Федеральный экологический оператор».

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Свердловской области в рамках проекта № 20-43-660055.

Библиографический список

1. Савичев О.Г., Паромов В.В., Копылова Ю.Г., Хвощевская А.А., Гусева Н.В. Эколого-геохимическое состояние поверхностных вод в бассейне р. Катунь (Горный Алтай). Вестник Томского государственного университета. 2013. №366. С. 157-161.
2. Шестеркина Н.М., Шестеркин В.П. Гидрохимия рек нижней части бассейна р. Ингода. Региональные проблемы. 2017, 20. №4. С. 61-67.
3. Воробьева И.Б., Власова Н.В. Качество поверхностных и подземных вод населенных пунктов Юго-Западного побережья озера Байкал. Природа Внутренней Азии. Nature of Inner Asia. 2018. №3 (8). С. 38-50.
4. Выхристюк Л.А., Зинченко Т.Д., Лаптева Е.В. Комплексная оценка экологического состояния равнинной р. Сок (бассейн Нижней Волги). Известия

Самарского научного центра Российской академии наук. 2010, 12. №1. С. 185-195.

5. Яшин И.М., Васенев И.И., Гареева И.В., Черников В.А. Экологический мониторинг вод Москвы-реки в столичном мегаполисе. Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2015. №5. С. 8-25.